

Б. П. СЕРЕДА, А. С. ГАЙДАЕНКО, Д. Б. СЕРЕДА

ПОЛУЧЕНИЕ ИНОВАЦИОННЫХ АЛЮМОСИЛИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье рассматриваются получение коррозионностойких алитированных покрытий на стальных подложках. Исследованы закономерности и механизмы формирования защитных слоев. Установлена зависимость толщины покрытий от технологических параметров процесса. С использованием методов математического моделирования разработаны оптимальные составы СВС-шхт для нанесения комплексных покрытий. Изучено влияние составов СВС-шхт на свойства полученных покрытий. Сталь с нанесенными защитными алитированными покрытиями, показала увеличение коррозионной стойкости в 1,9-2,1 раза, по сравнению с материалом, обработанным при изотермических условиях при эксплуатации оборудования в условиях коксохимического производства.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, сталь, коррозионная стойкость, алитирование, коксохимическое производство.

Б. П. СЕРЕДА, А. С. ГАЙДАЕНКО, Д. Б. СЕРЕДА

ОТРИМАННЯ ІНОВАЦІЙНИХ АЛЮМОСІЛІЦІРОВАННИХ ПОКРИТТІВ ПРАЦЮЧИХ В УМОВАХ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

У статті розглядаються отримання корозійностійких алітування покриттів на сталевих підкладках. Досліджено закономірності та механізми формування захисних покриттів. Встановлена залежність товщини покриттів від технологічних параметрів процесу. З використанням методів математичного моделювання розроблено оптимальні склади СВС-шхт для нанесення комплексних покриттів. Вивчено вплив складів СВС-шхт на властивості отриманих покриттів. Сталь з нанесеними захисними алітованими покриттями, показали збільшення корозійної стійкості в 1,9-2,1 рази, в порівнянні з матеріалом, обробленим при ізотермічних умовах при експлуатації обладнання в умовах коксохімічного виробництва.

Ключові слова: високотемпературний синтез, сталь, корозійна стійкість, алітування, коксохімічне виробництво.

B. P. SEREDA, A. S. GAYDAENKO, D. B. SEREDA

OBTAINING OF THE INNOVATIVE ALYOSILICATED COATINGS OF THE WORKERS IN THE CONDITIONS OF COCOCHEMICAL MANUFACTURE

The article discusses the production of corrosion resistant aluminized coatings on steel substrates. The laws and mechanisms of the formation of protective layers are investigated. The dependence of the coating thickness on the technological parameters of the process is established. Using the methods of mathematical modeling, the optimal compositions of SHS-mixtures for the application of complex coatings have been developed. The influence of the composition of SHS-mixture on the properties of the coatings obtained was studied. Coke-chemical production is characterized by a very high aggressiveness of the enterprise atmosphere, thermal effects on the working bodies of machines and structures, abrasiveness of coke dust, adhesion to the surface of condensate equipment, resins, fuses, etc. For the production environment of a coke-chemical enterprise, uneven distribution of aggressive substances in the working area is typical. The paper considers the formation of protective coatings in the thermal self-ignition mode can be divided into five stages: inert heating of the SHS mixture to the self-ignition temperature, thermal ignition, heating of parts, isothermal holding and cooling. Steel coated with protective aluminized coatings, showed an increase in corrosion resistance of 1.9-2.1 times, compared with the material treated under isothermal conditions during operation of equipment in terms of coke-chemical production

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, steel, corrosion resistance, aluminizing, coke-chemical production.

Введение. Эффективным методом повышения долговечности различных деталей, в результате которого изменяются химический состав, структура и свойства поверхностных слоев металла, является диффузионное силицирование.

Анализ литературных источников [1, 2] свидетельствует, что в настоящее время существует много методов диффузионного насыщения поверхности стали кремнием. Общим для них является осуществление процесса насыщения при высоких температурах, когда запас свободной энергии системы достаточно велик для протекания диффузии в твердой фазе.

Для получения покрытий на основе кремния применяют следующие способы: в среде расплавленных электролитов, в газовой фазе, при помощи порошкообразных масс в нейтральной или восстановительной атмосфере [3, 4].

Газовое силицирование осуществляется разными способами [5]: при непрерывном пропускании хлора через реакционное пространство с деталями и ферросилицием; с использованием вместо хлора хлористого водорода; в смеси H_2+SiCl_4 или

$N_2+H_2+SiCl_4$; в смеси $Ar+SiCl_4$ или N_2+SiCl_4 ; в смеси H_2+SiH_4 (моносилан), NH_3+SiH_4 . Газовое силицирование сталей проводится в герметически закрытых ретортах, в которые помещают детали, и засыпают их порошком ферросилиция, карборунда, чистого кремния или другими веществами, содержащими кремний. Кремний, содержащий газ $SiCl_4$, образуется в результате взаимодействия этих веществ с хлором, который подается в реторту в чистом виде, в смеси с водородом или вводится другим способом. При соприкосновении газообразного хлористого кремния с железом выделяется свободный кремний, который диффундирует в обрабатываемую деталь. Химизм процесса заключается в том, что при обработке образцов $SiCl_4$ кремний поступает к образцам вследствие реакции обмена, а также восстановления тетрахлорида кремния атомарным водородом, растворенным в железе.

Проблема продления ресурса стальных конструкций связана с обоснованием межремонтных сроков восстановления работоспособности объектов коксохимического производства с учетом их техногенной опасности [6].

Реализация предотвращения прогрессирующего разрушения стальных конструкций в условиях коксохимических предприятий на основе критериев техногенной безопасности, осуществляется путем решения следующих задач:

- систематизации данных экологических исследований для определения источников агрессивного воздействия на строительные конструкции;

- определения критериев прогрессирующего разрушения металлоконструкций под влиянием среды коксохимического производства;

- создания системы управления системой технического обслуживания и ремонта (СТОиР) основных производственных фондов по показателям стойкости конструктивных форм в условиях прогрессирующего разрушения;

- разработки технических решений, обеспечивающих повышение долговечности основных металлоконструкций и уровня техногенной безопасности производственных объектов.

Уровень техногенной опасности U объекта можно представить в виде выражения:

$$U = P \cdot G \leq [U], \quad (1)$$

где P – показатель потенциала опасности;

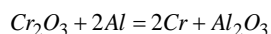
G – показатель состояния объекта.

Показатель потенциала опасности или суммарный энергетический потенциал является относительной величиной, которая включает значение потенциальной энергии сжатых рабочих сред, тепловой энергии нагретых масс, химической энергии горючих рабочих сред находящиеся в объекте и используется при сравнении энергопотенциалов опасных объектов.

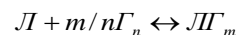
Анализ энергетических характеристик позволяет выполнить зонирование основных производственных объектов коксохимического предприятия для определения категорий ответственности сооружений и их базовых конструкций. Таким образом, учитывается опасность прогрессирующего разрушения базовых конструкций для объектов в случае превышения установленного энергетического потенциала.

Объекты и методы исследования. В настоящей работе исследовали возможность нанесения покрытий в неизотермических условиях. В качестве материалов, на которые наносили коррозионностойкие покрытия, были выбраны: сталь 45 и бронза БрАМц9-2.

Состав насыщающей среды выбирали исходя из требований к жаростойким покрытиям и особенностям формирования защитных покрытий на углеродистых материалах. Для постановки экспериментов применяли порошки: использовали Cr_2O_3 – оксид хрома (III), Al – алюминий марки АПВ, Al_2O_3 – оксид алюминия (III), Si – кремний марки Кр0, KrI , J_2 – металлический йод дисперсностью 200-350 мкм. Высокая температура процесса, необходимая для быстрого протекания реакций, создаётся в результате освобождения химической энергии восстановления оксида хрома алюминием по реакции



Возможность осуществления химических транспортных реакций в волне горения основана на том, что в процессе горения происходит последовательная смена температурных режимов, и температура в каждой точке смеси возрастает непрерывно от T_0 до T_{max} . [7-8]. В этих условиях, при очень малой длине диффузионного пути, резко возрастает интенсивность диффузионного переноса газообразных компонентов, которые участвуют в химических транспортных реакциях, которые протекают по реакции типа:



где L – легирующий компонент покрытия; G_n – галоген (активатор процесса); LG_n – летучий галогенид.

Для переноса и осаждения элемента L необходимо наличие сдвига равновесия реакции в соответствующую сторону, при этом элемент и изделие должны находиться в неодинаковых температурных условиях. Если скорости химических реакций не лимитируют процесс, то концентрация активных газов-переносчиков может оказывать влияние на интенсивность роста диффузионного слоя. Для оценки роли субгалогенидов при поверхностном насыщении и факторов, влияющих на равновесную концентрацию субгалогенидов, необходимо термодинамически проанализировать химические реакции, возможные в реакционном пространстве [9-11]. Открытие и исследование самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволило связать структуру образующихся при горении материалов с кинетикой быстрых экзотермических реакций.

Твердое пламя – как физико-химическое явление может реализовываться при соблюдении двух условий:

- смесь исходных реагентов должна быть высокодисперсной и обладать большим запасом химической энергии (высокой теплотворной способностью) для того, чтобы обеспечить необходимые для быстрого взаимодействия твердых веществ высокие температуры горения [12];

- продукты горения должны быть тугоплавкими, чтобы при высоких температурах горения находиться в твердом состоянии.

Твердое пламя в чистом виде – редкое явление, оно может иметь место только в системах с очень развитой поверхностью контакта реагентов. Пример тому – горение смеси плакированных порошков, в которых частицы одного вещества покрыты слоем другого, что обеспечивает достаточно большую удельную поверхность контакта реагентов, если, конечно, частицы достаточно малы. Микронные размеры в таких условиях являются удовлетворительными. Если частицы не плавятся, то взаимодействие между реагентами происходит твердофазным путем в режиме реакционной диффузии. Низкие значения констант массопереноса в твердой фазе могут быть скомпенсированы большой поверхностью контакта. Высокая температура является важным интенсифицирующим фактором. Режим чистого твердого пламени может быть

реализован в случае, при котором все вещества (не только исходные и конечные, но и промежуточные) находятся в твердом состоянии.

Близкие с точки зрения реакционной диффузии процессы могут протекать в системах, в которых один реагент является порошком, а другой газом. Здесь также поверхность контакта реагентов должна быть высокой. Наиболее сложна картина в реальных порошковых смесях, состоящих из частиц разного сорта. Малая поверхность контакта частиц не способна обеспечить чисто твердофазный режим горения, и распространение волны горения возможно лишь при наличии дополнительных интенсифицирующих факторов, таких как действие регенерируемых газовых молекул – переносчиков (обеспечивающих газотранспортный перенос реагентов) или контактное плавление за счет образования легкоплавких эвтектических смесей. Возможны ситуации, когда один из реагентов полностью плавится или газифицируется, однако продукты при этом образуются полностью в твердом состоянии. Именно твердое пламя с разнообразием форм превращения вещества легло в основу метода СВС.

В СВС нагрев вещества до высоких температур, необходимых для синтеза, происходит благодаря экзотермичности процесса, за счет выделения внутренней химической энергии, запасенной в шихте. Это важная черта СВС позволяет освободиться от высокотемпературного оборудования (печей, плазмотронов и др.), отказаться от затрат электроэнергии для проведения синтеза, обеспечить значительную экономию энергии в общем технологическом цикле [12].

Важно также, что тепло выделяется внутри системы, а не подводится через поверхность. Это значительно сокращает время нагрева, что также влияет на производительность. Но особое значение это обстоятельство имеет при проведении синтезов в больших объемах, при изготовлении крупных изделий, нагреть которые в печах практически невозможно. Послойный (волновой) характер тепловыделения облегчает также выход примесных газов из реагирующей системы.

И еще одна полезная характеристика. Это темп охлаждения (остывания) СВС-продуктов. Он может быть, как очень большим (10^3 - 10^4 град/с, закалка), так и очень малым (10^{-4} - 10^{-3} град/с, остывание в течение нескольких суток). Регулируя темп охлаждения, можно изменить структуру и, соответственно, свойства продуктов, получать материалы с уникальными характеристиками.

В целом отмеченные выше особенности СВС позволяют получать необычные материалы и приводят к экономии всех видов ресурсов (энергетических, материальных). При соблюдении регламентов пожаро- и взрывобезопасности обращения с порошками, СВС улучшает и социальные условия труда.

Тем не менее, несмотря на множество достоинств, СВС-технология имеет одно серьезное ограничение. Не любую реакцию можно провести в режиме СВС, не любую систему можно поджечь. В этом отношении ПС более универсален. Поэтому подбор реагентов,

составление экзотермической смеси является важной задачей в СВС. Опыт показал, что в принципиальном отношении это не очень сложная задача – для любого соединения или материала удастся подобрать нужную для СВС смесь реагентов. Но смесь может оказаться дефицитной или дорогой, и именно это ограничивает реальные возможности СВС. Поэтому сырьевая и экономическая оценка является важнейшим фактором предварительного анализа СВС.

Затраты на производство во всех разновидностях СВС-технологии намного меньше, чем, у традиционных аналогов и прототипов в силу выше приведенных особенностей СВС. Главный фактор, определяющий эффективность – это сырье. При одинаковом исходном материале (как, например, при получении порошков преимущество СВС неоспоримо). При получения методом СВС материалов, изделий, покрытий, стоимости сырья в таких процессах меньше, чем в производстве порошков, и поэтому здесь экономическая эффективность СВС-технологии очевидна [12].

Обращает на себя внимание необычно большой расход электроэнергии в СВС-технологии, что связано со значительной механической обработкой продукта горения.

Многие другие СВС-процессы получили сейчас технико-экономическое обоснование. Проведение такого типа анализов стало важным направлением технологической деятельности, что свидетельствует о практической зрелости этой интересной области научно-технического прогресса.

Для защиты деталей применяют и хромирование, так если исходить из того, что активность среды одинаковая (хромирование образцов с различным содержанием углерода осуществляли совместно), а толщина сформированного слоя и интенсивность осаждения, значительно отличается, то остается согласиться с фактом определяющей роли углерода, диффундирующего из основы через карбидный слой, в формировании покрытий, то есть после образования на стали тонкого карбидного слоя дальнейший рост покрытия осуществляется наружу в связи с тем, что диффузионная подвижность углерода в карбидном слое заметно выше, чем у хрома. Скорость диффузии углерода через карбидный слой обеспечивает разность его химических потенциалов под слоем и в насыщающей среде. Поэтому, чем выше содержание углерода в стали и ниже углеродный потенциал газовой среды, тем более активно растет карбидный слой [13].

Использование высокоуглеродистого феррохрома повышает химический потенциал углерода насыщающей среды, что снижает диффузионный массовый поток углерода через сформированный карбидный слой и соответственно скорость его роста.

Однако, на сталях, содержащих более 0,8 % углерода, карбидный слой формируется на основе двух фаз $Cr_{23}C_6$ и Cr_7C_3 , причем фаза Cr_7C_3 имеет более плотно упакованную решетку, снижающую скорость диффузии. Поэтому на данных сталях скорость роста покрытия в высокоуглеродистом феррохроме уступает

скорости роста на сталях, содержащих 0,6...0,7 % углерод

В насыщающей смеси на основе ФХ 010 поток массы хрома обеспечивает получение на низкоуглеродистых сталях покрытия значительной толщины (за 3...4 ч до 100 мкм при температуре 1000 °С). При повышении концентрации углерода в стали, например, до 0,20...0,30 %, на поверхности формируется тонкий карбидный слой, под которым находится зона раствора хрома в железе незначительной толщины и обезуглероженный подслои. На данной стали условия формирования покрытий нестабильные. Формируемые покрытия в зависимости от режимов нагрева имеют большее или меньшее значение карбидной зоны, то есть на данных сталях, из-за относительно низкой концентрации углерода, диффундируемого через образующийся карбидный слой, не обеспечивается интенсивный рост фазы. Углеродный же потенциал газовой среды не обеспечивает формирование карбидного слоя, что подтверждается отсутствием его роста при обработке образцов даже в течение весьма длительного времени (6...8 ч).

Результаты и их обсуждение. Анализ реакций, протекающих при СВС-процессе, а также результатов экспериментов и металлографических исследований позволили получить схему образования защитных покрытий. Процесс формирования защитных покрытий в режиме теплового самовоспламенения условно можно разделить на пять стадий – инертный прогрев СВС-смеси до температуры самовоспламенения, тепловое самовоспламенение, прогрев деталей, изотермическая выдержка и охлаждение.

На начальной стадии (стадия 1) происходит инертный прогрев смеси. При использовании в качестве поставщика диффундирующего элемента – бора или кремния – наблюдается формирования борированного или силицированного слоя.

На стадии 2 – стадии теплового самовоспламенения, происходит подъем температуры самовоспламенения со скоростью 200-400 °С/с до максимального значения. На этой стадии наряду с образованием активных атомов бора и кремния происходит протекания реакций образования элементарного хрома и их соединения с носителями (фтором, хлором и йодом), с образованием летучих галогенидов. Если энергия активации взаимодействия элементов шихты с носителем меньше, чем энергия активации основного восстановительного процесса, то реакции образования летучих галогенидов будут протекать квазистационарно по мере протекания основной реакции. Если температура самовоспламенения ниже температуры начала интенсивного образования летучего галогенида, то для этого случая образования галогенидов происходит лишь на стадии нестационарного роста температуры. При достижении максимальной температуры, превращающей температуру пиролиза дийодида хрома, кремния, происходит его быстрый распад.

На 3 стадии – стадии прогрева изделий, происходит падение температуры до температуры процесса $T_{\text{п}}$ за счет приема выделившегося тепла

изделиями. Активные атомы, начинают диффундировать в подложку и происходит легирование карбидных фаз бором и кремнием. Начинают формироваться легированные боридные и силицидные фазы.

На 4 стадии – стадии изотермической выдержки, происходит формирования постоянного диффузионного потока образующихся активных атомов хрома, алюминия, кремния и бора. Диффузионный слой увеличивается и происходит легирование хромоалитированных слоев бором и кремнием. С увеличением изотермической выдержки происходит увеличение толщины слоя. Рост слоя подчиняется параболическому закону.

На 5 стадии – стадии охлаждения, происходит формирования диффузионного слоя с меньшей интенсивностью за счет уменьшения коэффициента диффузии кремния и бора из-за падения температуры. Слой состоит из двух фаз: внешней, представляющей собой бориды и силициды хрома, и внутренней – карбидной фазы.

Исследования показали, что такую высокую скорость формирования покрытий можно объяснить тем, что аустенит образующийся при скоростном нагреве из-за стадии самовоспламенения, характеризуется высокой дефектностью строения и мелкозернистостью, что резко увеличивает его диффузионную восприимчивость насыщаемыми элементами. Таким образом, можно управлять как скоростью роста слоев, так и их фазовым составом, и структурой. Основными факторами, влияющими на кинетику формирования защитных слоев, оказывают состав СВС-шихты, количество хромистой составляющей, время изотермической выдержки, состав обрабатываемой стали, а также вид СВС-процесса проходящий в режиме горения или в режиме теплового самовоспламенения. Испытания на коррозионную стойкость осуществляется согласно ГОСТ Р 9.905-2007 (ИСО 7382: 2001, ИСО 11845: 1995) и ГОСТ 9.908-85 на плоских образцах 50x50 мм толщиной 3 мм.

Образцы с покрытиями на исследуемых конструктивных материалах исследуются в 20% – водных растворах соляной, серной и азотной кислот (при 20 °С). Упрочненные конструктивные материалы показали увеличение коррозионной стойкости в 1,9-2,1 раза по сравнению с материалом, обработанным при изотермических условиях

Выводы. Получение алюмосилицированных защитных покрытий при нестационарных температурных условиях, обеспечивает высокую коррозионную стойкость деталей, что в 1,9-2,1 раза выше по сравнению с материалом, обработанным при изотермических условиях.

Список литературы

References (transliterated)

1. Мержанов А.Г. Твердо-пламенное горение / Мержанов А.Г. – Черноголовка: ИСМАН, 2000. – 244 с.
2. Химико-термическая обработка металлов. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. // М.: Металлургия, 1985. – С. 256.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. // М.: Металлургия, 1994. – С. 494.
4. Сыркин В.Г. CVD – метод. Химическое паровое осаждение. // М.: Наука, 2000. – С. 496.
5. Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. // Справочник. М.: Металлургия, 1981. – С. 424.
6. Гайдаенко А. С. Влияние технологических факторов на безопасность эксплуатации конструкций зданий и сооружений/ Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь». – Вип. 7. – 2011. – С. 96-102
7. Коган Я.Д. Перспективы развития технологий поверхностного упрочнения материалов деталей машин и инструмента. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1993. – № 8. – С. 5–9.
8. Середя Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів: Монографія / Середя Б.П., Калініна Н.Є., Кругляк І.В. – Запоріжжя: РВБ ЗДІА– 2004. – 230 с.
9. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology– 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. – P.825-829.
10. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / [Синярев Г. Б., Ватолин Н. А., Трусов Б. Г., Моисеев Р. К. и др.]. – М.: Наука, 1982. – 263 с.
11. Sereda B. Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Columbus, OH, USA, 2015. – P.229-232.
12. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов / под ред. В.В. Телепы, А.В. Хачояна. – Черноголовка: ИСМАН. – 1998. – 512 с.
13. Середя Б.П. Повышение износо- и коррозионной стойкости деталей оборудования металлургических предприятий / Б.П. Середя, В.Н. Михайлин, И.В. Кругляк, Д.О. Кругляк // Запоріжжя: Металургія. – Випуск 2 (30). – 2013. – С. 146–152
1. Merzhanov A.G. Solid-flame burning / Merzhanov AG – Chernogolovka: ISMAN, 2000. – 244 p. (in Russian).
2. Chemical heat treatment of metals. Lakhtin Yu.M., Arzamasov B.N. – Moscow.: Metallurgy, 1985. – 256 p (in Russian).
3. Lakhtin Yu.M. Metal science and heat treatment of metals. – Moscow.: Metallurgy, 1994. – 494 p (in Russian).
4. Syrkin V.G. CVD – method. Chemical vapor deposition. – Moscow.: Science, 2000. – 496 p (in Russian).
5. Borisenok G.V., Vasilyev L.A., Voroshnin L.G. and others. Chemical heat treatment of metals and alloys. – /Directory. Moscow.: Metallurgy, 1981. – 424 p. (in Russian).
6. Gaydaenko A.S. The influence of technological factors on the safety of building structures and structures operation / Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V.M. Shimanovsky – Kiev.: View of "Steel". – No 7 – 2011. – P. 96-102 (in Russian).
7. Kogan Ya.D. Prospects for the development of surface hardening technologies for materials of machine parts and tools. // Metallurgy and heat treatment of metals. – 1993. – No 8. – p. 5–9 (in Russian).
8. Sereda B.P. Surface reinforcement of materials: Monograph / Sereda B.P., Kalinina N.E., Kruglyak I.V. – Zaporozhye: RVB ZDIA– 2004. – 230 p (in Russian).
9. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology– 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. – P.825-829 (references).
10. The use of computers for thermodynamic calculations of metallurgical processes / [Sinyarev G. B., Vatin N. A., Trusov B. G., Moiseev R. K., et al.]. – Moscow.: Science, 1982. – 263 p. (in Russian).
11. Sereda B. Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Columbus, OH, USA, 2015. – P.229-232(references).
12. Merzhanov A.G. Combustion processes and materials synthesis / ed. V.V. Telepy, A.V. Khachoyan. – Chernogolovka: Isman. – 1998. – 512 p. (in Russian).
13. Sereda B.P. Increase of wear and corrosion resistance of parts of equipment of metallurgical enterprises / B.P. Sereda, V.N. Mikhaylin, I.V. Kruglyak, D.O. Kruglyak // Zaporizhzhya: Metalurgiya. – No 2 (30). – 2013. – p. 146-152

Поступила (received) 25.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Середя Борис Петрович (Середя Борис Петрович, Sereda Borys Petrovich) – научный руководитель научно-исследовательского центра "Материаловедения и инновационных технологий", доктор технических наук, профессор Днепровского государственного технического университета, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9518-381X>; e-mail: seredabp@ukr.net

Гайдаенко Александр Сергеевич (Гайдаєнко Олександр Сергійович, Gaydayenko Alexander Sergeevich) – аспирант кафедры ААГ Днепровского государственного технического университета, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56294233800>; e-mail: seredabp@ukr.net

Середя Дмитрий Борисович (Середя Дмитро Борисович, Sereda Dmytro Petrovich) – ассистент кафедры "Машиностроения" Днепровского государственного технического университета, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4353-1365>; e-mail: seredabp@ukr.net